



TUGAS AKHIR – ME 141501

ANALISA APLIKASI *FLETTNER ROTOR* PADA KAPAL KONTAINER
4000 DWT DALAM UPAYA PENGHEMATAN BAHAN BAKAR

DIMAS HERMANSYAH
NRP. 4211 100 103

Dosen Pembimbing
Edi Jadmiko, S.T., M.T.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT

Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT – ME 141501

ANALYSIS APPLICATION ROTOR FLETTNER IN CONTAINER SHIP
WITH DWT 4000 FOR FUEL SAVING EFFORT

DIMAS HERMANSYAH
NRP. 4211 100 103

Supervisor
Edi Jadmiko, S.T., M.T.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT.

Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA APLIKASI FLETTNER ROTOR PADA KAPAL
KONTAINER 4000 DWT DALAM UPAYA PENGHEMATAN BAHAN
BAKAR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik


Pada
Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD) Program Studi S-1
Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DIMAS HERMANSYAH
NRP. 4211 100 103

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Edi Jadmiko, S.T., M.T.

()

Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT

()

Surabaya
Juli, 2017

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA APLIKASI FLETTNER ROTOR PADA KAPAL
KONTAINER 4000 DWT DALAM UPAYA PENGHEMATAN BAHAN
BAKAR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD) Program Studi S-1
Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DIMAS HERMANSYAH

NRP. 4211 100 103

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., MT.
NIP. 1997 0802 2008 01 1007

Surabaya

Juli, 2017

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Analisa Aplikasi Flettner Rotor Pada Kapal Kontainer 4000 DWT Dalam Upaya Penghematan Bahan Bakar

Nama Mahasiswa : Dimas Hermansyah
NRP : 4211100103
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing :
1. Edi Jadmiko, S.T., M.T.
2. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT.

Abstrak

Flettner rotor merupakan salah satu teknologi pemanfaatan energi alam yang dapat digunakan pada kapal. Di Indonesia teknologi *flettner rotor* ini masih jarang untuk penggunaannya pada kapal. Teknologi *flettner rotor* ini berbentuk silinder panjang, terpasang diatas dek kapal secara vertikal, dan berputar menggunakan motor listrik. Alat ini memanfaatkan tenaga angin dan mengaplikasikan efek magnus untuk menghasilkan gaya dorong. *Flettner rotor* ini sangat berpengaruh pada kondisi angin di laut. Oleh karena itu, sebelum melakukan tahap perancangan, dilakukan survei terhadap kondisi angin pada jalur pelayaran yang akan dilalui. Apabila pada jalur pelayaran tersebut memungkinkan untuk digunakan *flettner rotor*, maka tahap perancangan untuk teknologi ini dapat dilakukan.

Dalam tugas akhir ini akan membahas tentang optimasi dimensi *flettner rotor* pada kapal kontainer 4000 DWT dalam upaya untuk penghematan bahan bakar. Dari hasil akhir dari tugas akhir ini bisa didapatkan dimensi *flettner rotor* pada kapal container 4000 DWT yang optimal untuk penghematan bahan bakar.

Kata Kunci : Flettner rotor, Efek Magnus, Fuel Saving

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Analysis Application Rotor Flettner in Container Ship with DWT 4000 for Fuel Saving Effort

Name : Dimas Hermansyah

NRP : 4211100103

Departement : Marine Engineering

Supervisor :

1. Edi Jadmiko, S.T., M.T.

2. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT.

Abstract

Flettner rotor is one of the natural energy utilization technology that can be used on ships. In Indonesia flettner rotor technology is still rare for use on ships. Flettner technology is cylindrical rotor length, mounted vertically above the deck of the vessel, and a rotating electric motors. This tool utilizes wind power and apply the magnus effect to generate thrust. Flettner rotor is very influential on wind conditions at sea. Therefore, before doing the design stage, conducted a survey of wind conditions on the cruise line that will pass. If the cruise lines that allow it to be used flettner rotor, the design phase for this technology can do

In this final project will discuss the optimization of the dimensions of the rotor flettner container ships with DWT 4000. From the final results of this thesis can be found on the rotor flettner dimensions container ship with DWT 4000 that is optimal for fuel saving.

Keyword : Flettner rotor, Magnus Effect, Fuel Saving

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir berjudul “Analisa Aplikasi Flettner Rotor Pada Kapal Kontainer 4000 DWT Dalam Upaya Penghematan Bahan Bakar”.

Penyelesaian tugas akhir ini bukan hanya semata-mata kerja seorang diri dari penulis, adapun pihak-pihak yang turut membantu untuk penyelesaian tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih dan memberikan apresiasi kepada pihak yang turut membantu penyelesaian tugas akhir ini.

Tugas akhir ini saya dedikasikan untuk:

1. Ibu dan Bapak yang selalu mendoakan, memberikan dukungan dan memberikan nasihat bagi penulis untuk terus berjuang.
2. Bapak Edi Jadmiko, S.T., M.T dan Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT selaku dosen pembimbing tugas akhir dan Bapak Ir. H. Alam Baheramsyah, M.Sc selaku dosen wali atas pengarahan dan pengajaran tentang penyelesaian tugas akhir ini.
3. AMPIBI 2011 selaku satu angkatan Tahun 2011 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS atas semangat dan dukungan untuk penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu sehingga tugas akhir bisa terselesaikan dengan lancar.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Daftar Isi

KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Flettner Rotor	5
2.2 Tekanan Udara Wilayah Surabaya – Balikpapan.....	7
2.3 Teori CFD	8
2.4 Perhitungan Propulsion Force Flettner Rotor dan Power Saving.....	8
2.4.1 Perhitungan Power Contribution Flettner Rotor.....	8
2.4.2 Perhitungan Power Saving	9
2.4.3 Perhitungan Propulsion Force	9
2.4.4 Perhitungan Tahanan Kapal setelah Dipasang Flettner Rotor	9
BAB III METODE PENELITIAN	11
2.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah	12
2.2 Studi Pustaka	12
2.3 Tahap Pengumpulan Data.....	12
2.4 Penggambaran Model.....	12
2.5 Simulasi CFD	13
2.6 Analisa Teknis.....	13
2.7 Analisa Fuel Saving.....	13
2.8 Kesimpulan	13
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Karakteristik Kapal.....	15
4.2 Harga Bahan Bakar	15
4.3 Karakteristik Flettner Rotor.....	15
4.4 Proses Simulasi	16
4.4.1 Pemodelan Flettner Rotor	16
4.4.2 Input Parameter	16

4.5 Hasil Simulasi CFD.....	17
4.6 Perhitungan Hasil	18
4.7 Karakteristik Angin Jalur Pelayaran Surabaya-Balikpapan	28
4.8 Perhitungan Power Contribution Flettner Rotor	28
4.9 Perhitungan Propulsion Force Flettner Rotor	28
4.10 Perhitungan Tahanan Kapal dan Daya dengan Penambahan Flettner Rotor...	28
4.11 Perhitungan Power Saving	29
4.12 Perhitungan Fuel Saving	29
4.13 Perhitungan Rupiah	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA.....	33
LAMPIRAN	35

Daftar Gambar

Gambar 1.1 Grafik Perkembangan Penggunaan Bahan Bakar	1
Gambar 2.1 Skema Efek Magnus.....	5
Gambar 2.2 Ilustrasi Aplikasi Flettner Rotor pada Kapal	6
Gambar 2.3 Kondisi Arah Angin pada Musim Hujan dan Musim Kemarau	7
Gambar 2.4 Kondisi Angin Perairan Utara Pulau Jawa	7
Gambar 3.1 Flowchart Metode Penelitian.....	12
Gambar 4.1 Pemodelan Flettner Rotor.....	16
Gambar 4.2 Hasil Meshing Pemodelan Flettner Rotor.....	17
Gambar 4.3 Distribusi Tekanan Pada Sekitar Rotor.....	17
Gambar 4.4 Gambar dan Diagram Lift Flettner Rotor 16 meter	19
Gambar 4.5 Gambar dan Diagram Drag Flettner Rotor 16 meter	19
Gambar 4.6 Gambar dan Diagram Lift Flettner Rotor 18 meter	20
Gambar 4.7 Gambar dan Diagram Drag Flettner Rotor 18 meter	20
Gambar 4.8 Gambar dan Diagram Lift Flettner Rotor 20 meter	20
Gambar 4.9 Gambar dan Diagram Drag Flettner Rotor 20 meter	21
Gambar 4.10 Grafik Nilai Lift Pada Setiap Flettner Rotor.....	27
Gambar 4.11 Grafik Nilai Drag Pada Setiap Flettner Rotor	27

Daftar Tabel

Tabel 4. 1 Data Kapal pembanding ARIFE.....	15
Tabel 4.2. Nilai Distribusi Lift Pada Tiap Titik Flettner Rotor 16 meter	21
Tabel 4.3. Nilai Distribusi Drag Pada Tiap Titik Flettner Rotor 16 meter	25
Tabel 4.4. Tabel Hasil Nilai Korfisien Lift dan Drag Flettner Rotor 16, 18, dan 20 meter	27

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Power Contribution.....	28
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Propulsion Force Flettner Rotor.....	28
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Tahanan Kapal dan Daya Kapal Setelah Dipasang Flettner Rotor.....	29
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Power Saving Kapal Setelah Dipasang Flettner Rotor	29
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Fuel Saving Kapal Setelah Dipasang Flettner Rotor .	29
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Rupiah dari pemasangan Flettner Rotor.....	30

Daftar Persamaan

Persamaan 2. 1 Perhitungan Power Contribution.....	8
Persamaan 2. 2 Perhitungan Power Saving	9
Persamaan 2. 3 Perhitungan Propulsion Force	9
Persamaan 2. 4 Perhitungan Tahanan Baru	9

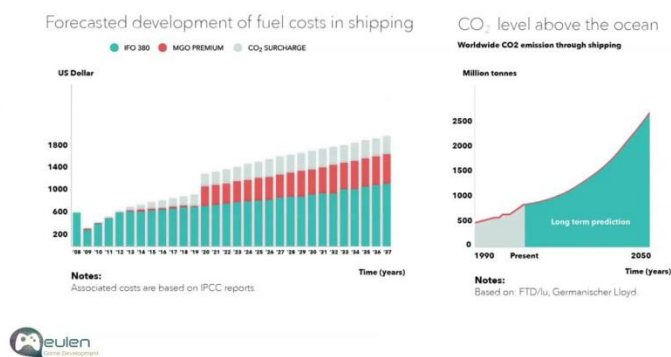
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era globalisasi ini, ketergantungan akan energi bahan bakar dari fosil masih menjadi kebutuhan utama untuk menjalankan sektor industri dan transportasi. Kebutuhan energi bahan bakar ini semakin lama semakin berkurang akan persediannya dari perut bumi. Untuk itu dibutuhkan suatu inovasi teknologi agar kedepannya ketergantungan akan energi bahan bakar ini bisa berkurang. Di era modern ini energi alam merupakan suatu hal yang dapat dimanfaatkan sebagai energi tambahan dari energi bahan bakar dari fosil. Di dalam studi kasus ini akan dibahas pemanfaatan dari salah satu energi alam yaitu angin. Hal ini dikarenakan pemanfaatan energi ini untuk menciptakan lingkungan yang sehat seiring dengan kemajuan teknologi yang pesat. Salah satu teknologi ramah lingkungan yang dibutuhkan adalah teknologi yang diaplikasikan pada kapal. Dalam pengoperasian kapal energi yang dibutuhkan untuk kapal dapat bergerak sangatlah besar.

Berikut data dikutip dari mariTIM The Hybrid Wind Coaster :



Gambar 1. 1 Grafik Perkembangan Penggunaan Bahan Bakar Kapal dan Kadar CO2 diatas Permukaan Laut dari Tahun ke Tahun

Sumber : <https://www.youtube.com/watch?v=3DEENHSEP2A>

Menurut data diatas, penggunaan energi dari bahan bakar kapal semakin membesar dari tahun ke tahun. Sehingga, menimbulkan grafik yang meningkat pada kadar CO2 di permukaan laut. Oleh karena itu, dibutuhkan energi alternatif untuk mengurangi dampak dari energi bahan bakar fosil. Energi alternatif yang dapat

digunakan adalah energi angin. Dengan penggunaan energi alternatif dari energi angin ini dapat dipilih perancangan *Flettner rotor*. *Flettner rotor* merupakan salah satu teknologi yang memanfaatkan energi angin untuk membantu mencukupi kebutuhan energi penggerak pada kapal. Dalam penelitian sebelumnya membahas tentang pengaruh pengaplikasian *flettner rotor* ini pada kapal dan pengaruh pengaplikasian *flettner rotor* pada offshore support vessel secara umum.

Dalam penelitian akan membahas analisa dari perbandingan dimensi *flettner rotor* dan pengaruh pada *fuel saving* untuk kapal kontainer 4000 DWT. Dari hasil akhir dari tugas akhir ini diharapkan bisa didapatkan pengaruh penggunaan teknologi *flettner rotor* pada *fuel saving* untuk kapal kontainer 4000 DWT dari hasil analisa perbandingan dimensi yang dilakukan. Untuk perancangan dan pengujian dari *flettner rotor* digunakan program software dari Numeca.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian di atas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain dan menganalisa tekanan dari masing-masing *flettner rotor*?
2. Bagaimana mengetahui perbandingan kebutuhan power yang digunakan untuk pengoperasian pada masing-masing *flettner rotor*?
3. Bagaimana mengetahui perbandingan analisa *fuel saving* pada masing-masing aplikasi *flettner rotor* pada kapal kontainer 4000 DWT?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah

1. Mendesain dan menganalisa *flettner rotor* dengan menggunakan software Numeca.
2. Menganalisa perbandingan *fuel saving* pada masing-masing *flettner rotor* kapal kontainer 4000 DWT.
3. Dalam analisa penggunaan *flettner rotor* ini tidak menganalisa pengaruh stabilitas dari kapal kontainer 4000 DWT.
4. Dalam analisa penggunaan *flettner rotor* ini tidak menganalisa peletakan *flettner rotor* dari kapal kontainer 4000 DWT.
5. Arah aliran angin menuju dari samping kapal.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah

1. Didapatkan sebuah model perancangan *flettner rotor* pada kapal kontainer 4000 DWT dengan power saving dan *fuel saving* pada masing-masing dimensi *flettner rotor*.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mendapatkan analisa *fuel saving* dari desain *flettner rotor* pada kapal kontainer 4000 DWT.
2. Memberi referensi kepada pembaca sehingga dapat dilakukan pengembangan untuk penelitian selanjutnya.

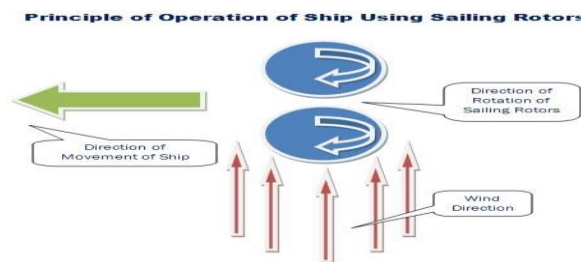
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Flettner Rotor

Flettner rotor adalah salah satu jenis *mechanical propulsor* kapal yang memanfaatkan tenaga angin. Alat ini terdiri dari silinder vertical yang besar. Prinsip kerja alat ini memanfaatkan efek magnus, yaitu, angin yang berhembus melewati silinder akan menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan antara angin yang berada searah dengan putaran silinder dan yang berlawanan arah dengan putaran silinder sehingga menimbulkan gaya dorong. Hal ini dijelaskan pada skema gambar berikut :



Gambar 2. 1 Skema Efek Magnus pada Flettner Rotor

Sumber. <https://www.google.co.id/search?q=magnus+effect+ship>

Pemasangan dari flettner rotor ini harus mempertimbangkan kondisi dan arah angin guna mendapatkan efisiensi yang optimal. Kapal yang menggunakan Fixed Pitch Propeller memiliki keuntungan yang lebih akibat dari pemasangan flettner rotor ini daripada yang menggunakan tipe propeller lain. Pada saat berlayar menggunakan flettner rotor ini, kemudi kapal harus selalu dikontrol agar tetap berada jalur yang lurus.



Gambar 2. 2 Ilustrasi Aplikasi Flettner Rotor pada Kapal

Sumber. http://www.maritim-denl.eu/cms_uploads/files/brosch%C3%BCre_whc_final.pdf

Berdasarkan ilustrasi gambar diatas, *flettner rotor* ini dipasang dengan menggunakan sambungan hidrolik dimana posisi rotor dapat ditidurkan ke bawah yang nantinya akan bermanfaat saat berada di pelabuhan.

Manfaat dari aplikasi *flettner rotor* pada kapal ini adalah bisa menghemat penggunaan bahan bakar dengan presentase 10-30% bergantung pada jalur pelayaran yang ditempuh. Penghematan penggunaan bahan bakar ini akan mengurangi kadar emisi seperti CO₂, Sox, NO_x, dan emisi lainnya. *Flettner rotor* ini bertindak sebagai energi tambahan kepada sistem propulsi kapal dan bahkan bisa melakukan sampai 100% sebagai sistem propulsi dengan kondisi angin yang optimal. Sehingga, *flettner rotor* ini bisa dijadikan sebagai sistem propulsi yang independen.

Keefektifan dari *flettner rotor* ini bergantung pada :

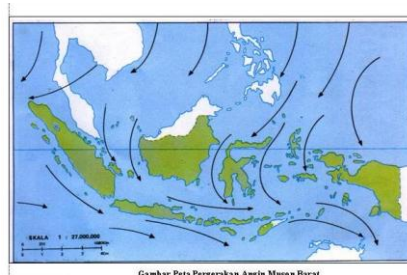
1. Jalur pelayaran
2. Kecepatan angin
3. Arah angin

Ada beberapa keuntungan yang didapatkan dari penggunaan *flettner rotor* pada kapal, diantaranya adalah :

1. Tidak memerlukan kru tambahan
2. Sistem yang digunakan berjalan secara otomatis
3. Tidak ada efek buruk yang terjadi pada muatan
4. 10-30% hemat bahan bakar per tahun
5. Menghasilkan emisi yang lebih rendah daripada kapal konvensional

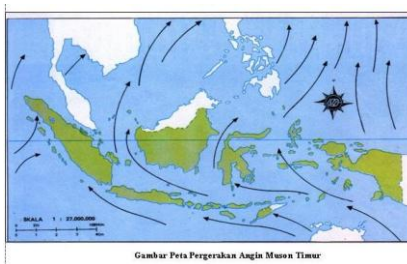
2.2 Tekanan Udara Wilayah Surabaya – Balikpapan

Flettner rotor berfungsi optimal apabila terdapat kondisi dan arah angin yang sesuai. Pelayaran yang dilakukan dari Surabaya ke Balikpapan atau sebaliknya bisa mendukung fungsi dari flettner rotor.



Gambar Peta Pergerakan Angin Musim Hujan

(A)



Gambar Peta Pergerakan Angin Musim Kemarau

(B)

Gambar 2. 3 Kondisi Arah Angin Pada Musim Hujan (A) dan Musim Kemarau (B)

Sumber. www.maritim.bmkg.go.id

Berdasarkan gambar diatas, kondisi angin yang melintasi wilayah pelayaran Surabaya-Balikpapan mendukung fungsi dari kinerja flettner rotor berdasarkan arah aliran angin dan force yang ditimbulkan oleh gerakan rotor.

Kode	Nama Wilayah Pelayanan	Cuaca	Angin		Gelombang (m)
			Arah	Kec.(kt)	
I.01	Laut Jawa bagian timur	Berawan	Timur - Tenggara	10 - 28	1.5 - 3.5
I.02	Perairan Kepulauan Masalembu	Hujan Ringan	Timur - Selatan	9 - 26	1.5 - 3
I.03	Perairan Pulau Bawean	Hujan Ringan	Timur - Tenggara	8 - 25	0.8 - 2.5
I.04	Perairan utara Jawa Timur	Berawan	Timur - Tenggara	7 - 24	0.8 - 2
I.05	Perairan Gresik	Berawan	Timur - Selatan	5 - 20	0.3 - 1
I.06	Selat Madura	Berawan	Timur - Selatan	5 - 20	0.3 - 1.3
I.07	Perairan Kepulauan Kangean	Berawan	Timur - Selatan	7 - 24	0.5 - 2
I.08	Perairan Selatan Jawa Timur	Berawan	Timur - Tenggara	9 - 26	1.5 - 3
I.09	Samudera Hindia selatan Jawa Timur	Berawan	Timur - Tenggara	10 - 32	2 - 5

Catatan : Gelombang Maksimum dapat mencapai dua kali tinggi gelombang yang tertera diatas.

Gambar 2. 4 Kondisi Angin Perairan Utara Pulau Jawa

2.3 Teori CFD (Computational Fluid Dynamic)

Computational Fluid Dynamic merupakan ilmu sains dalam penentuan penyelesaian numeric dinamika fluida. Computational Fluid Dynamic adalah pendekatan ketiga dalam studi dan pengembangan bidang dinamika fluida selain pendekatan teori dan eksperimen murni.

Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan penggunaan CFD yaitu

- Meminimalkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
- Memiliki kemampuan system studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan dengan eksperimen.
- Memiliki kemampuan untuk studi dibawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan scenario kecelakaan)
- Keakuratannya akan selalu terkontrol dalam pembuatan desain.

2.4 Perhitungan Propulsion Force Flettner Rotor dan Power Saving

2.4.1 Perhitungan Power Contribution Flettner Rotor

$$\begin{aligned}l &= \frac{1}{2} \rho A v_a^2 C_L \\d &= \frac{1}{2} \rho A v_a^2 C_D \\p_{l\&d} &= (l + d) \cdot V_s \\p_{motor} &= \frac{1}{2} \rho A v_a^3 C_M \alpha \\p_{prop} &= p_{l\&d} - p_{motor}\end{aligned}$$

Persamaan 2. 1 Perhitungan Power Contribution

Keterangan :

- l : lift force
d : drag force
 ρ : densitas udara
A : luas area flettner rotor
 v_a : kecepatan angin
 C_L : Coefficient Lift
 C_D : Coefficient Drag
 C_M : Moment Coefficient
 α : rasio kecepatan rotor dengan kecepatan angin
 $p_{l\&d}$: kombinasi lift dan drag force
 p_{motor} : power yang dibutuhkan motor untuk memutar flettner rotor
 p_{prop} : propulsion force

2.4.2 Perhitungan Power Saving

Perhitungan persentase dari power saving :

$$\% \text{ power saving} = (P_{Bxknots} - P_{Bnew}) \times 100 / P_{Bxknots}$$

Persamaan 2. 2 Perhitungan Power Saving

Keterangan :

$P_{Bxknots}$: Power yang dibutuhkan kapal tanpa flettner rotor

P_{Bnew} : Power yang dibutuhkan kapal setelah dipasang flettner rotor

2.4.3 Perhitungan Propulsion Force

$$F_p = (L \times \sin \beta + \cos \beta)$$

Persamaan 2. 3 Perhitungan Propulsion Force

Keterangan :

F_p : Propulsion Force

L : Lift force

D : Drag Force

β : Apparent Wind

2.4.4 Perhitungan Tahanan Kapal setelah Dipasang Flettner Rotor

$$R_{t \text{ new}} = R_t - F_p$$

Persamaan 2. 4 Perhitungan Tahanan Baru

Keterangan :

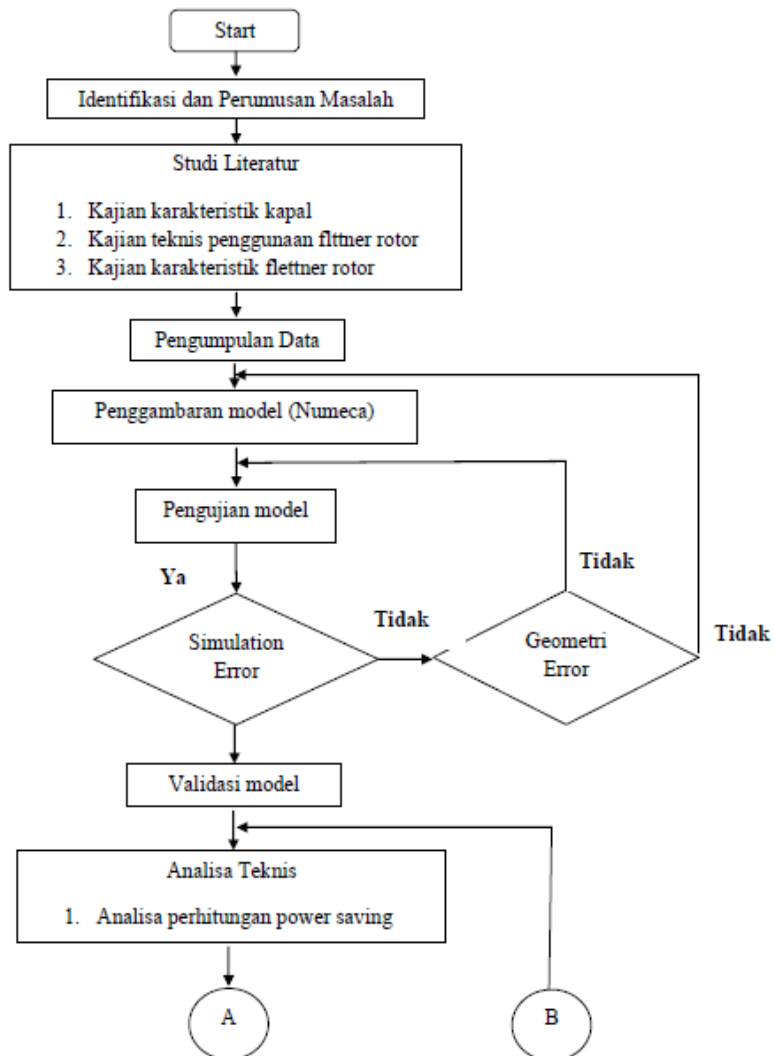
R_t : Tahanan kapal tanpa flettner rotor

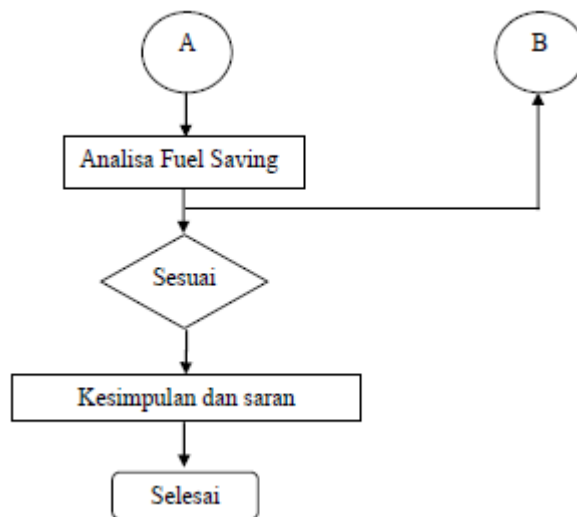
F_p : Propulsion Force

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 3

METODE PENELITIAN





Gambar 3. 1 Flowchart Metode Penelitian

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Merupakan tahap untuk mencari dan mengidentifikasi masalah yang dianggap relevan untuk dijadikan ide tugas akhir dan belum pernah dipakai oleh orang lain. Setelah mendapatkan ide tugas akhir tersebut dirumuskan permasalahan yang perlu dibahas apa saja terkait dengan judul tugas akhir tersebut. Dalam tugas akhir ini dilakukan identifikasi pengaplikasian *flettner rotor* dan pengaruhnya terhadap *power saving* ditinjau dari perbandingan dimensi *flettner rotor*.

3.2 Studi Pustaka

Merupakan tahap pencarian referensi untuk dijadikan acuan dalam pengerjaan tugas akhir. Referensi tersebut haruslah berkaitan dengan tema dan pengerjaan tugas akhir yang dikerjakan. Literatur yang dibaca yaitu berasal dari buku, tugas akhir, paper, jurnal dan website internet.

3.3 Tahap Pengumpulan Data

Dalam proses pengumpulan data dan informasi, data yang diperlukan berupa :

1. Karakteristik kapal
2. Harga bahan bakar HFO
3. Karakteristik *flettner rotor*
4. Kondisi angin di area pelayaran

3.4 Penggambaran Model

Pada tahap ini dilakukan pengerjaan model dari konsep yang telah direncanakan dengan menggunakan software Numeca.

3.5 Simulasi CFD

Setelah dilakukan penggambaran model tersebut, model disimulasi menggunakan software Numeca

3.6 Analisa Teknis

Analisa perhitungan Power Saving dilakukan setelah mengetahui hasil dari simulasi penggambaran model flettner rotor.

3.7 Analisa Fuel Saving

Analisa Fuel Saving dilakukan setelah mengetahui perhitungan Power Saving dari pengaplikasian flettner rotor.

3.8 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian diambil untuk menyelesaikan permasalahan yang ada serta saran sebagai bahan perbaikan ke depannya.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Kapal

Kapal pembanding yang digunakan sebagai acuan untuk pembuatan flettner rotor adalah kapal ARIFE berbendera Panama. Adapun data-data kapal yang telah dihimpun adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Data Kapal pembanding ARIFE

Tipe Kapal	Container Carrier
Lpp	81,25 m
Lwl	83,69 m
Ldisp	82,47 m
B	15,45 m
H	8,3 m
T	6,45 m
Vs	13 knots
DWT	4103
Power	1690 kW
SFOC	188 g/kwh
RPM	720
Generator	3 AC 555 kVA
Main Engine	Wartsila Finland of Technology
Jarak Pelayaran	481 nautical miles

4.2 Harga Bahan Bakar

Harga bahan bakar HFO per 15-31 Januari 2017 adalah Rp. 8.300,- / liter (PT. Pertamina Indonesia)

4.3 Karakteristik Flettner Rotor

- Flettner Rotor 1

h (tinggi) : 16 m

d (diameter) : 3 m

RPM : 500

Kecepatan Angin : 20 knots : 10,29 m/s

- Flettner Rotor 2

h (tinggi) : 18 m

d (diameter) : 3 m

RPM : 500

Kecepatan Angin : 20 knots : 10,29 m/s

- Flettner Rotor 3

h (tinggi) : 20 m

d (diameter) : 3 m

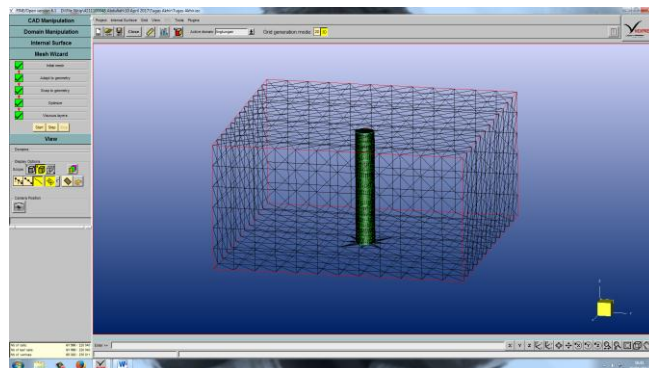
RPM : 500

Kecepatan Angin : 20 knots : 10,29 m/s

4.4 Proses Simulasi

4.4.1 Pemodelan Flettner Rotor

Pada proses pemodelan dilakukan dengan menggunakan software Numeca Fine Open.



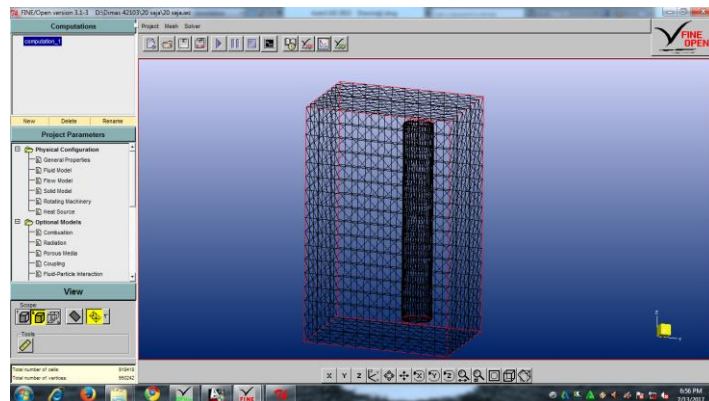
Gambar 4.1. Pemodelan Flettner Rotor

Penggambaran model dilakukan dengan membuat dua bidang utama yaitu, pertama bidang silinder, dimana silinder tersebut akan menjadi flettner rotor. Lalu kedua adalah bidang balok, bidang tersebut berguna sebagai media fluidanya atau tempat mengalirnya fluida.

4.4.2 Input Parameter

Pada tahap ini dimasukkan nilai RPM flettner rotor dan kecepatan angin. Selain itu, dipilih juga jenis fluida, jenis aliran, dan lain sebagainya. Pada simulasi

ini angin yang berhembus diasumsikan berhembus pada 90 derajat dari arah gerak kapal.

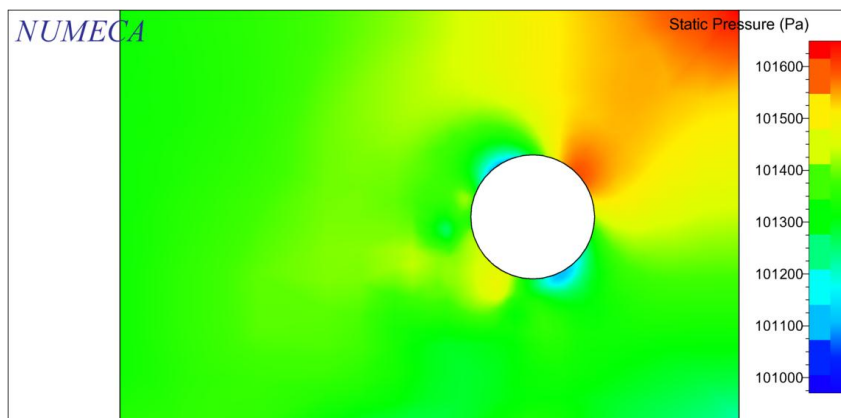


Gambar 4.2. Hasil Meshing Pemodelan Flettner Rotor

Setelah semua tahap selesai dilakukan, maka selanjutnya dapat dilakukan proses running. Proses running dilakukan sebanyak 1 kali untuk masing-masing dimensi flettner rotor.

4.5 Hasil Simulasi CFD

Apabila proses running telah sukses dilakukan, maka untuk melihat hasil running dapat dilakukan pada menu Start CFView. Berdasarkan kebutuhannya maka diambil hasil running berupa static pressure.



Gambar 4.3 Distribusi Tekanan Pada Sekitar Rotor

4.6 Perhitungan Hasil

Proses perhitungan dilakukan dengan menyesuaikan pada rumus berdasarkan dari jurnal, karena berdasarkan hasil simulasi nilai Lift tidak bisa langsung didapat. Berikut rumus yang digunakan untuk mencari nilai Lift pada flettner rotor :

$$l = \frac{1}{2} \rho A v_a^2 C_L$$

Dimana :

l : lift

A : vertical cross sectional area

Vertical cross sectional area atau dapat disebut luas penampang vertikal dari flettner rotor. Untuk mendapatkan nilai A yaitu tinggi rotor dikalikan diameter rotor.

C_L : lift coefficient

Coefficient lift yaitu parameter tanpa dimensi yang berperan dalam menentukan besarnya gaya angkat.

P : density of air

Merupakan massa jenis udara yang tidak dipengaruhi oleh bentuk dan volume.

V_a : apparent wind speed

Apparent wind merupakan angin yang timbul akibat angin yang berhembus mengenai objek yang bergerak. Apparent wind dapat dihitung dengan menambahkan true wind dengan head wind.

Untuk mengetahui hasil akhir koefisien lift, maka nilai gaya lift dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

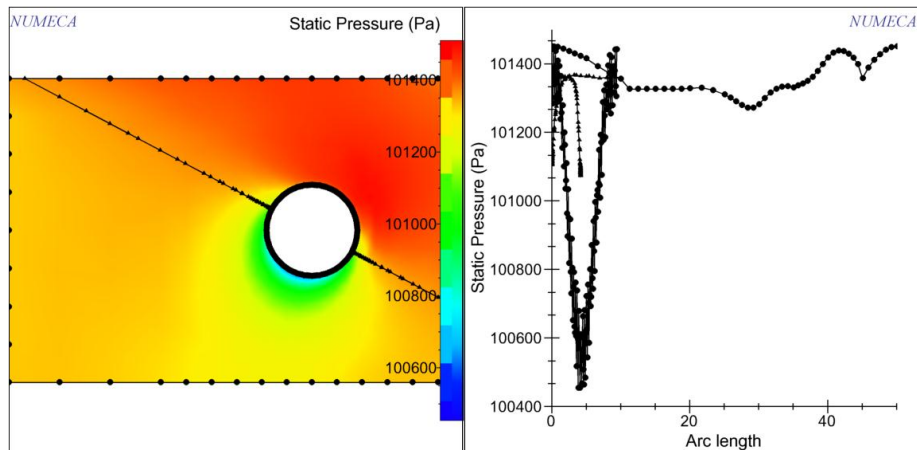
$$Fl = P \times A$$

Dimana :

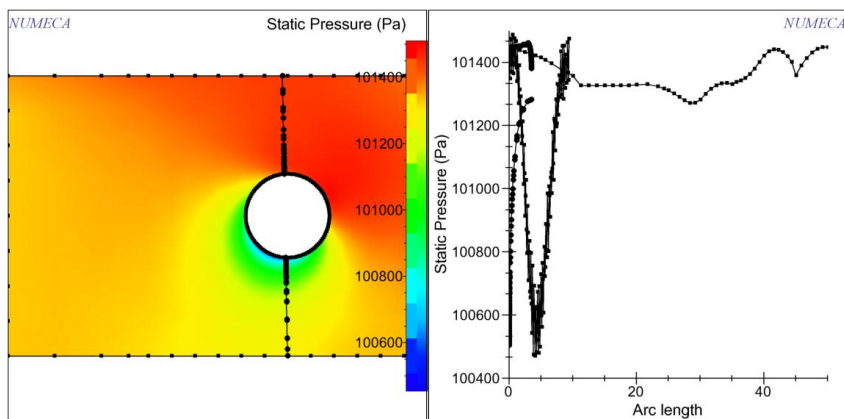
P : Tekanan pada flettner rotor

A : Luasan flettner rotor

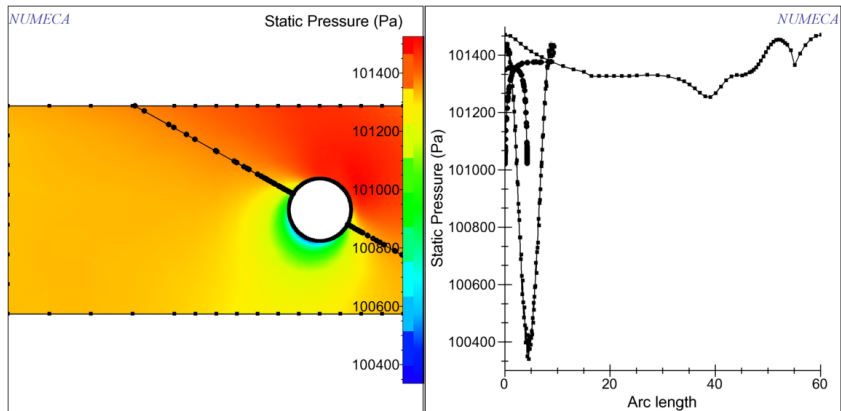
Sebuah flettner rotor dapat memberi nilai lift atau gaya dorong akibat terjadinya perbedaan tekanan pada kedua sisi flettner tersebut. Oleh karena itu dari hasil simulasi pada gambar, untuk mendapatkan nilai pendekatan gaya lift maka dilakukan pemotongan garis lurus untuk mengetahui perbedaan nilai distribusi tekanan pada masing-masing sisi flettner rotor dan untuk mendapatkan nilai pendekatan gaya drag maka dilakukan pemotongan garis lurus namun berbeda pemotongan seperti pengambilan dari gaya lift.



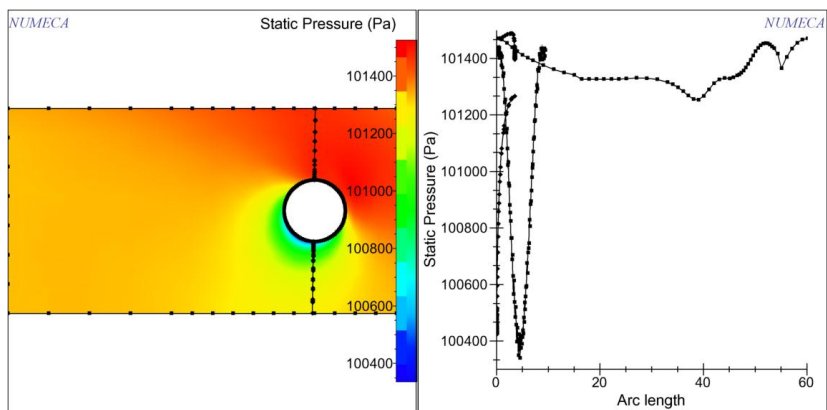
Gambar 4.4. Gambar dan Grafik Lift Flettner Rotor 16 meter



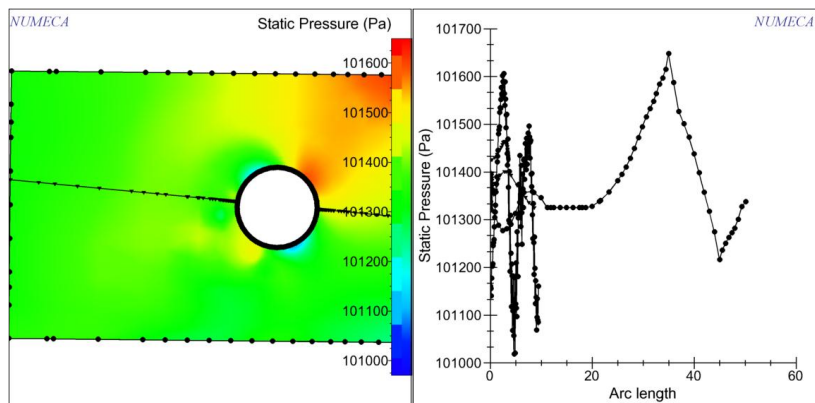
Gambar 4.5. Gambar dan Grafik Drag Flettner Rotor 16 meter



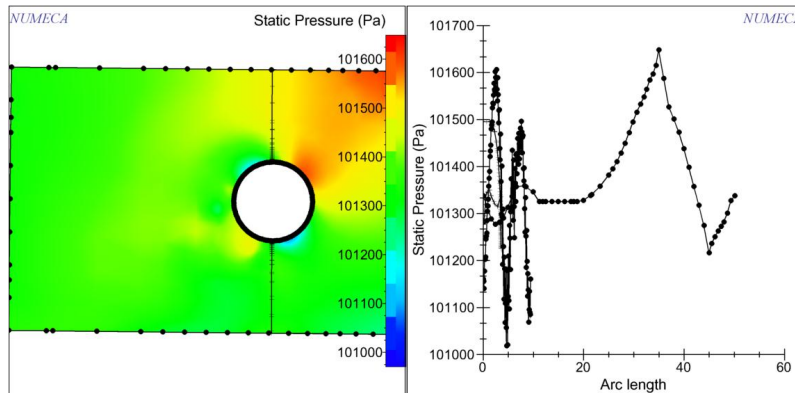
Gambar 4.6. Gambar dan Grafik Lift Flettner Rotor 18 meter



Gambar 4.7. Gambar dan Grafik Drag Flettner Rotor 18 meter



Gambar 4.8. Gambar dan Grafik Lift Flettner Rotor 20 meter



Gambar 4.9 Gambar dan Grafik Drag Flettner Rotor 20 meter

Hasil simulasi gambar flettner rotor dibagi menjadi dua bagian, bagian 1 merupakan sisi yang memiliki nilai tekanan lebih tinggi, sedangkan bagian 2 merupakan sisi yang memiliki nilai tekanan lebih rendah. Sisi yang memiliki tekanan lebih tinggi akan memiliki warna lebih ke merah, sedangkan untuk tekanan rendah memiliki warna hijau atau biru.

Setelah menentukan potongan kedua sisi flettner rotor, kemudian dicari nilai tekanan yang terjadi pada kedua bagian tersebut. Titik-titik yang mengitari rotor dapat diketahui nilai tekanannya melalui diagram disamping gambar hasil simulasi.

Tabel 4.2. Nilai Distribusi Lift Pada Tiap Titik Flettner Rotor 16 meter

Tekanan Pada Luasan 1		Tekanan Pada Luasan 2	
No	Nilai	No	Nilai
1	101168	1	101125
2	101190	2	101072
3	101245	3	101056
4	101264	4	100993
5	101298	5	100965
6	101344	6	100933
7	101381	7	100821
8	101416	8	100815
9	101418	9	100806
10	101443	10	100768
11	101454	11	100754
12	101461	12	100690
13	101472	13	100650

14	101479	14	100617
15	101481	15	100592
16	101483	16	100568
17	101485	17	100555
18	101487	18	100523
19	101489	19	100515
20	101491	20	100507
21	101493	21	100496
22	101495	22	100476
23	101497	23	100476
24	101498	24	100476
25	101498	25	100476
26	101498	26	100476
27	101498	27	100482
28	101498	28	100496
29	101493	29	100509
30	101488	30	100531
31	101483	31	100547
32	101478	32	100553
33	101473	33	100605
34	101468	34	100654
35	101461	35	100682
36	101456	36	100722
37	101430	37	100735
38	101429	38	100789
39	101418	39	100794
40	101416	40	100843
41	101402	41	100861
42	101380	42	100884
43	101341	43	100940
44	101329	44	100952
45	101315	45	101001
46	101280	46	101021
47	101268	47	101055
48	101229	48	101088
49	101213	49	101120
50	101176	50	101146

Jumlah	5070350	5037211
Rata-rata	101407	100744,22
Lift	8597285,46	8541094,972

Nilai rata-rata tersebut dijadikan nilai lift dan dikalikan dengan nilai luasan yang kemudian dapat diketahui nilai gaya pada kedua sisi rotor. Adapun nilai luasannya yaitu luasan flettner rotor

$$A = \frac{1}{2} \times \rho \times d \times t$$

$$A = \frac{1}{2} \times 3,14 \times 3 \times 16$$

$$A = 75,36 \text{ m}^2$$

Untuk nilai A1 dan A2 adalah sama karena pembagian luasan hanya berdasarkan dibagi dua. Berikut perhitungan untuk nilai gaya lift-nya.

$$Fl_1 = P_1 \times A_1$$

$$Fl_1 = 101407 \times 75,36$$

$$Fl_1 = 8597285,46 \text{ N}$$

$$Fl_2 = P_2 \times A_2$$

$$Fl_1 = 100744,22 \times 75,36$$

$$Fl_1 = 8541094,97 \text{ N}$$

Setelah kedua sisi rotor ditemukan nilai gayanya, maka kemudian kedua nilai tersebut dimasukan ke dalam rumus berikut.

$$Fl = Fl_1 - Fl_2$$

$$Fl = 8597285,46 - 8541094,97$$

$$Fl = 56190,48 \text{ N}$$

Kemudian nilai Force Lift diatas digunakan untuk mencari nilai Coefficient Lift dengan rumus yang telah disebut sebelumnya yaitu sebagai berikut.

$$l = \frac{1}{2} \rho A v_a^2 C_L$$

$$C_L = \frac{Fl}{0,5 \times \rho \times A \times Va^2}$$

$$C_L = \frac{56190,48}{0,5 \times 3,14 \times 150,72 \times 5,14^2}$$

$$C_L = 6,213$$

Tabel 4.3. Nilai Distribusi Drag Pada Tiap Titik Flettner Rotor 16 meter

Tekanan Rendah		Tekanan Tinggi	
No	Nilai	No	Nilai
1	101498	1	100476
2	101498	2	100482
3	101498	3	100496
4	101493	4	100509
5	101488	5	100531
6	101483	6	100547
7	101478	7	100553
8	101473	8	100605
9	101468	9	100654
10	101461	10	100682
11	101456	11	100722
12	101430	12	100735
13	101429	13	100789
14	101418	14	100794
15	101416	15	100843
16	101402	16	100861
17	101380	17	100884
18	101341	18	100940
19	101329	19	100952
20	101315	20	101001
21	101280	21	101021
22	101268	22	101055
23	101229	23	101088
24	101213	24	101120
25	101176	25	101146
26	101125	26	101168
27	101072	27	101190

28	101056	28	101245
29	100993	29	101264
30	100965	30	101298
31	100933	31	101344
32	100821	32	101381
33	100815	33	101416
34	100806	34	101418
35	100768	35	101443
36	100754	36	101454
37	100690	37	101461
38	100650	38	101472
39	100617	39	101479
40	100592	40	101481
41	100568	41	101483
42	100555	42	101485
43	100523	43	101487
44	100515	44	101489
45	100507	45	101491
46	100496	46	101493
47	100476	47	101495
48	100476	48	101497
49	100476	49	101498
50	100476	50	101498
Jumlah		5054916	
Rata-rata		101098,32	
Drag		8571115,57	

Nilai rata-rata tersebut dijadikan nilai drag dan dikalikan dengan nilai luasan yang kemudian dapat diketahui nilai gaya pada kedua sisi rotor. Adapun nilai luasannya yaitu luasan flettner rotor

$$A = \frac{1}{2} \times \rho \times d \times t$$

$$A = \frac{1}{2} \times 3,14 \times 3 \times 16$$

$$A = 75,36 \text{ m}^2$$

Untuk nilai A1 dan A2 adalah sama karena pembagian luasan hanya berdasarkan dibagi dua. Berikut perhitungan untuk nilai gaya drag-nya.

$$Fd_1 = P_1 \times A_1$$

$$Fd_1 = 101052,9 \times 75,36$$

$$Fd_1 = 8567264,86 \text{ N}$$

$$Fl_2 = P_2 \times A_2$$

$$Fd_1 = 101098,32 \times 75,36$$

$$Fd_1 = 8571115,57 \text{ N}$$

Setelah kedua sisi rotor ditemukan nilai gayanya, maka kemudian kedua nilai tersebut dimasukan ke dalam rumus berikut.

$$Fd = Fd_1 - Fd_2$$

$$Fd = 8567264,86 - 8571115,57$$

$$Fl = 3850,70 \text{ N}$$

Kemudian nilai Force Drag diatas digunakan untuk mencari nilai Coefficient Drag dengan rumus yang telah disebut sebelumnya yaitu sebagai berikut.

$$d = \frac{1}{2} \rho A v_a^2 C_L$$

$$C_d = \frac{Fl}{0,5 \times \rho \times A \times Va^2}$$

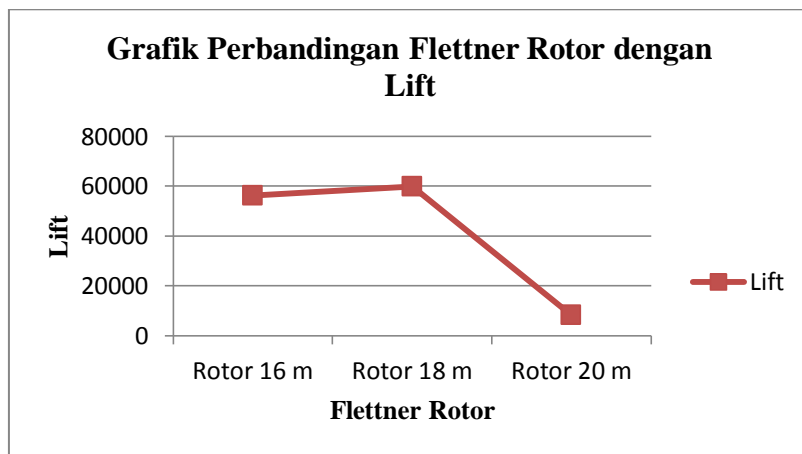
$$C_d = \frac{56190,48}{0,5 \times 3,14 \times 150,72 \times 5,14^2}$$

$$C_d = 0,425$$

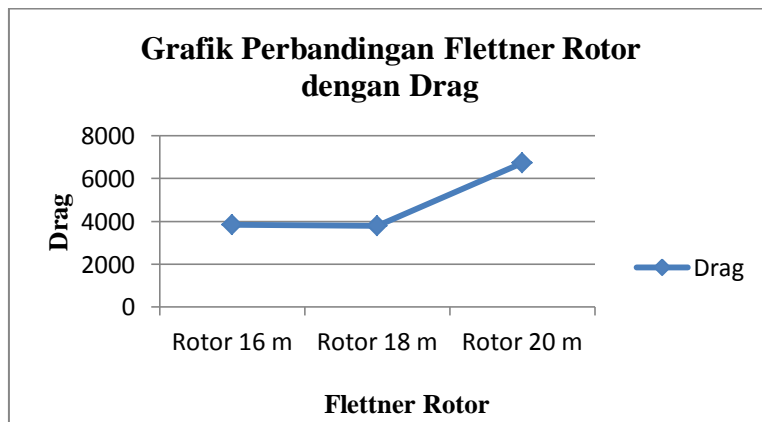
Berikut hasil nilai coefficient lift dan drag dalam bentuk tabel dan grafik :

Tabel 4.4. Tabel Hasil Nilai Korfisien Lift dan Drag Flettner Rotor 16, 18, dan 20 meter

No	Flettner Rotor	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (rpm)	L (Lift)	D (Drag)	Cl (Koefisien Lift)	Cd (Koefisien Drag)
1	Rotor 16 m	10	500	56190,4884	3850,7076	6,213563	0,4258125
2	Rotor 18 m	10	500	59968,2852	3782,8836	5,8945	0,371833333
3	Rotor 20 m	10	500	8394,9156	6729,8364	0,74265	0,59535



Gambar 4.10 Grafik Nilai Lift Pada Setiap Flettner Rotor



Gambar 4.11 Grafik Nilai Drag Pada Setiap Flettner Rotor

4.7 Karakteristik Angin Jalur Pelayaran Surabaya-Balikpapan

Berdasarkan data yang sudah dihimpun dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak. Untuk Kecepatan angin perairan utara pulau Jawa yaitu 9 - 26 knots pada tanggal 14-16 Juli 2017. Dalam penelitian ini, kecepatan angin yang digunakan untuk analisa adalah sebesar 20 knot. Perhitungan Tahanan, Thrust Power, Delivered Power, Shaft Power, dan Brake Power Kapal Pemandang

4.8 Perhitungan Power Contribution Flettner Rotor

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh dan menggunakan persamaan 2.1, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Power Contribution

No	Flettner Rotor(m)	Lift	Drag	Pld	Pmotor	Prop
1	16	56190,49	3850,70	401675,6	172629,4	229046,2
2	18	59968,29	3782,88	426495,3	172629,4	253865,9
3	20	8394,91	6729,83	101184,6	172629,4	-71444,8

4.9 Perhitungan Propulsion Force Flettner Rotor

Berdasarkan persamaan 2.3, perhitungan propulsion force dari flettner rotor didapatkan sebesar :

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Propulsion Force Flettner Rotor

No	Flettner Rotor (m)	Propulsion Force
1	16	0,980
2	18	0,898
3	20	0,656

4.10 Perhitungan Tahanan Kapal dan Daya dengan Penambahan Flettner Rotor

Dari perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan, akan diperoleh kebutuhan power kapal yang baru setelah dipasang flettner rotor, dibawah ini adalah hasil-hasil yang diperoleh setelah dilakukan perhitungan.

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Tahanan Kapal dan Daya Kapal Setelah Dipasang Flettner Rotor

No	Flettner Rotor (m)	Rt new (kn)	BHP new (kw)
1	16	109,259	1466,58
2	18	109,341	1247,53
3	20	109,5838	1470,94

4.11 Perhitungan Power Saving

Setelah di dapatkan nilai BHP yang baru, dilakukan perhitungan power saving seperti persamaan 2.2.

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Power Saving Kapal Setelah Dipasang Flettner Rotor

No	Flettner Rotor (m)	Power Saving (%)
1	16	0,24
2	18	15,2
3	20	0,0148

4.12 Perhitungan Fuel Saving

Sebelum dilakukan perhitungan fuel saving untuk kapal yang telah dipasang flettner rotor maka dihitung terlebih dahulu kebutuhan bahan bakar kapal sebelum dipasang flettner rotor. Setelah dilakukan perhitungan kebutuhan bahan bakar kapal tanpa dipasang flettner rotor diperoleh hasil sebagai berikut :

Whfo dengan BHP mcr 1471,16 kw = 30,19 ton

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Fuel Saving Kapal Setelah Dipasang Flettner Rotor

No	Flettner Rotor (m)	Fuel Saving (ton)
1	16	30,09
2	18	25,60
3	20	30,18

4.13 Perhitungan Rupiah

Untuk perhitungan rupiah dari fuel saving maka harus dikonversikan dahulu dari ton ke liter. Sesuai dengan harga bahan bakar HFO per 15-31 Januari 2017 adalah Rp. 8.300,- / liter (PT. Pertamina Indonesia) maka hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Rupiah dari pemasangan Flettner Rotor

No	Flettner Rotor (m)	Rupiah (Rp)
1	16	976.470,588
2	18	44.820.000
3	20	97.647,058

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan pada laporan ini yang telah mengacu pada data-data dan referensi yang relevan, maka, dapat ditarik kesimpulan untuk hasil studi yang telah dilaksanakan ini adalah sebagai berikut :

1. Nilai coefficient lift tidak berbanding lurus dengan kecepatan angin dan putaran rotasi flettner rotor. Jadi tergantung dari dimensi flettner rotor dan rpm.
2. Nilai coefficient drag tidak berbanding lurus dengan kecepatan angin dan putaran rotasi flettner rotor. Jadi tergantung dari dimensi flettner rotor dan rpm.
3. Nilai coefficient lift tertinggi didapat pada flettner rotor dengan dimensi 16 meter dengan putaran 500 rpm dengan kecepatan angin 20 knot yaitu senilai 6,21. Sedangkan nilai coefficient lift terendah didapat pada flettner rotor dengan dimensi 20 meter dengan putaran 500 rpm dengan kecepatan angin 20 knot yaitu senilai 0,74.
4. Nilai coefficient drag tertinggi didapat pada flettner rotor dengan dimensi 20 meter dengan putaran 500 rpm dengan kecepatan angin 20 knot yaitu senilai 0,59. Sedangkan nilai coefficient drag terendah didapat pada flettner rotor dengan dimensi 18 meter dengan putaran 500 rpm dengan kecepatan angin 20 knot yaitu senilai 0,37.
5. Rotor Flettner dengan dimensi 18 meter bisa digunakan sebagai alternatif penghematan bahan bakar dikarenakan dari hasil perhitungan didapat nominal sebesar Rp. 44.820.000,00 untuk fuel saving yang dihasilkan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pembahasan dan kesimpulan yang telah didapatkan mengenai analisa aplikasi flettner rotor pada kapal kontainer 4000 DWT dalam upaya penghematan bahan bakar dengan jalur pelayaran Surabaya-Balikpapan, masih diperlukan beberapa tindakan lanjutan guna tercapainya efektifitas penggunaan flettner rotor, diantaranya :

1. Penelitian mengenai variasi kecepatan angin dan kecepatan kapal
2. Penelitian mengenai variasi jarak pelayaran lebih jauh. Direkomendasikan bisa melewati jalur internasional.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Prawira, A.Y, ” Analisa Tekno Ekonomi Aplikasi Flettner Rotor Pada Kapal Kontainer 4000 DWT”, Tugas Akhir Sistem Perkapalan ITS, Surabaya, 2017

Ilhami, O, P., 2015 “Analisa Aplikasi Flettner Rotor Pada Offshore Support Vessel Panjang 56 Meter Dengan Metode CFD”. Tugas Akhir Sistem Perkapalan ITS, Surabaya

Traut, M., dkk. 2014. “Propulsive power contribution of a kite and a Flettner rotor on selected shipping routes”. *Applied Energy*. 113:362–372

Harun, Hamran. 2011. “Wind Assisted Propulsion for Fuel Saving”. Disertasi Teknik Kimia Universitas teknologi Malaysia, Malaysia.

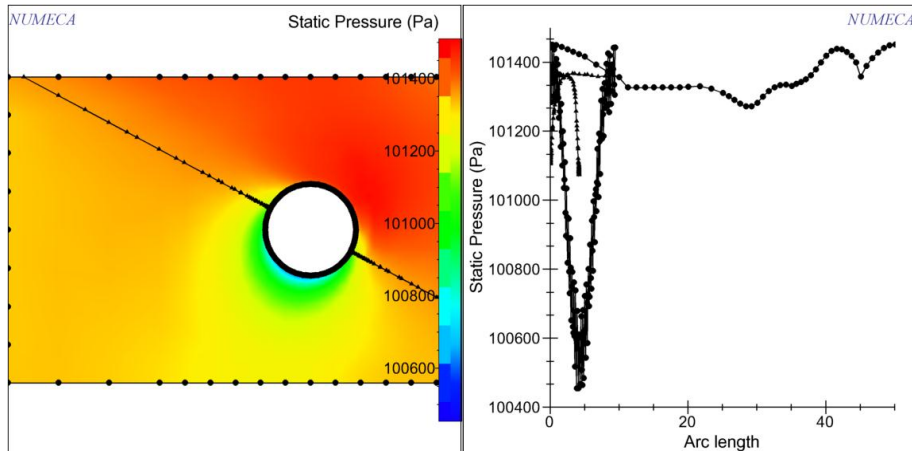
Sv. Aa, Harvald. 1992. “Tahanan dan Propulsi Kapal” Airlangga University Press, Surabaya.

Prakiraan Cuaca Wilayah Pelayanan 2017 diunduh dari www.maritim.bmkg.go.id Pada 3 Juli pukul 16.00 WIB.

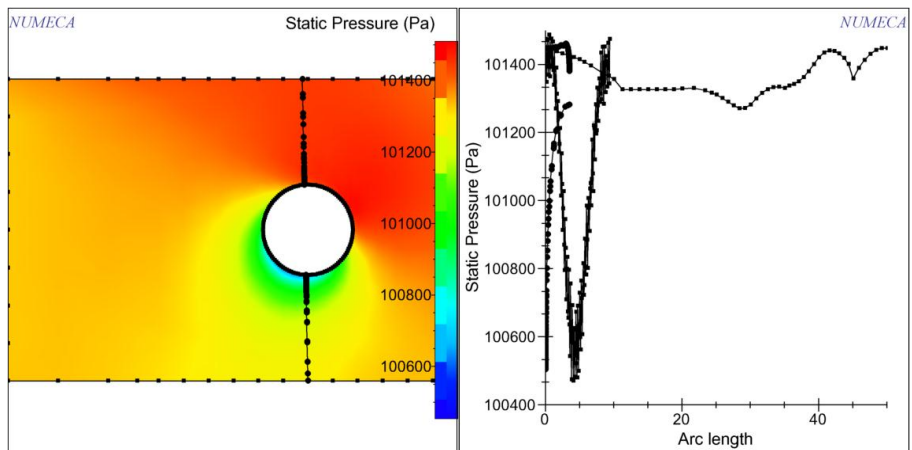
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN HASIL SIMULASI SOFTWARE NUMECA

A. Hasil Simulasi Lift dan Drag Flettner Rotor 16 meter, putaran = 500 rpm dan Kecepatan Angin 10,29 m/s (20 knots)

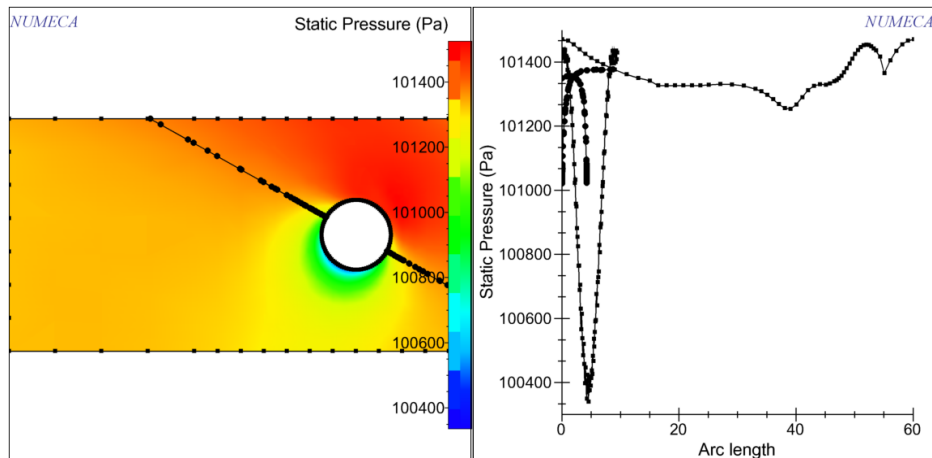


Gambar dan Grafik Lift Flettner Rotor 16 meter

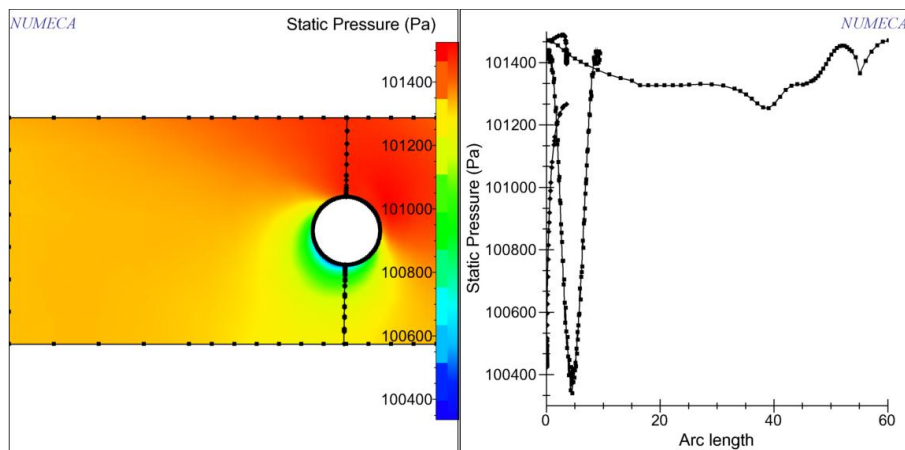


Gambar dan Grafik Drag Flettner Rotor 16 meter

B. Hasil Simulasi Lift dan Drag Flettner Rotor 18 meter, putaran = 500 rpm dan Kecepatan Angin 10,29 m/s (20 knots)

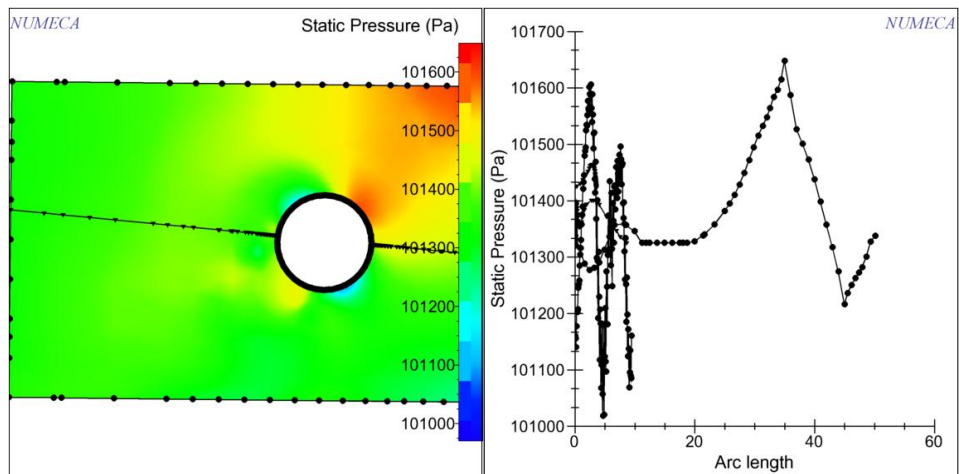


Gambar dan Grafik Lift Flettner Rotor 18 meter

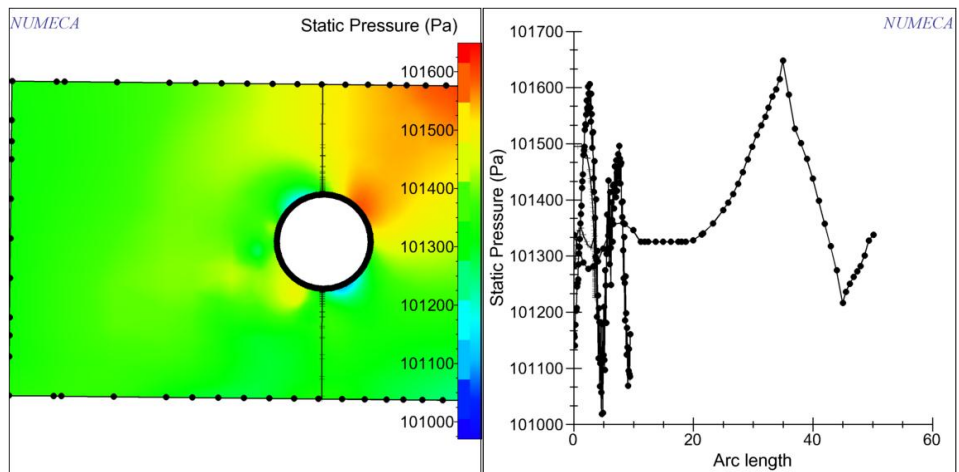


Gambar dan Grafik Drag Flettner Rotor 18 meter

C. Hasil Simulasi Lift dan Drag Flettner Rotor 20 meter, putaran = 500 rpm dan Kecepatan Angin 10,29 m/s (20 knots)



Gambar dan Grafik Lift Flettner Rotor 20 meter



Gambar dan Grafik Drag Flettner Rotor 20 meter

LAMPIRAN DATA PENGAMBILAN NILAI TEKANAN

A. Flettner Rotor 16 meter, putaran = 500 rpm dan Kecepatan Angin 10,29 m/s (20 knots)

Tabel Nilai Distribusi Lift Pada Tiap Titik Flettner Rotor 16 meter

Tekanan Pada Luasan 1		Tekanan Pada Luasan 2	
No	Nilai	No	Nilai
1	101168	1	101125
2	101190	2	101072
3	101245	3	101056
4	101264	4	100993
5	101298	5	100965
6	101344	6	100933
7	101381	7	100821
8	101416	8	100815
9	101418	9	100806
10	101443	10	100768
11	101454	11	100754
12	101461	12	100690
13	101472	13	100650
14	101479	14	100617
15	101481	15	100592
16	101483	16	100568
17	101485	17	100555
18	101487	18	100523
19	101489	19	100515
20	101491	20	100507
21	101493	21	100496
22	101495	22	100476
23	101497	23	100476
24	101498	24	100476
25	101498	25	100476
26	101498	26	100476
27	101498	27	100482
28	101498	28	100496
29	101493	29	100509
30	101488	30	100531

31	101483	31	100547
32	101478	32	100553
33	101473	33	100605
34	101468	34	100654
35	101461	35	100682
36	101456	36	100722
37	101430	37	100735
38	101429	38	100789
39	101418	39	100794
40	101416	40	100843
41	101402	41	100861
42	101380	42	100884
43	101341	43	100940
44	101329	44	100952
45	101315	45	101001
46	101280	46	101021
47	101268	47	101055
48	101229	48	101088
49	101213	49	101120
50	101176	50	101146
Jumlah	5070350		5037211
Rata-rata	101407		100744,22
Lift	8597285,46		8541094,972

Gaya lift yang bekerja pada flettner rotor
16 meter dengan putaran 100 rpm dan
kecepatan angin 10 m/s adalah =

56190,4884

Nilai 1

= **6,2135625**

Tabel Nilai Distribusi Drag Pada Tiap Titik Flettner Rotor 16 meter

Tekanan Rendah		Tekanan Tinggi	
No	Nilai	No	Nilai
1	101498	1	100476
2	101498	2	100482
3	101498	3	100496
4	101493	4	100509

5	101488	5	100531
6	101483	6	100547
7	101478	7	100553
8	101473	8	100605
9	101468	9	100654
10	101461	10	100682
11	101456	11	100722
12	101430	12	100735
13	101429	13	100789
14	101418	14	100794
15	101416	15	100843
16	101402	16	100861
17	101380	17	100884
18	101341	18	100940
19	101329	19	100952
20	101315	20	101001
21	101280	21	101021
22	101268	22	101055
23	101229	23	101088
24	101213	24	101120
25	101176	25	101146
26	101125	26	101168
27	101072	27	101190
28	101056	28	101245
29	100993	29	101264
30	100965	30	101298
31	100933	31	101344
32	100821	32	101381
33	100815	33	101416
34	100806	34	101418
35	100768	35	101443
36	100754	36	101454
37	100690	37	101461
38	100650	38	101472
39	100617	39	101479
40	100592	40	101481
41	100568	41	101483

	42	100555	42	101485
	43	100523	43	101487
	44	100515	44	101489
	45	100507	45	101491
	46	100496	46	101493
	47	100476	47	101495
	48	100476	48	101497
	49	100476	49	101498
	50	100476	50	101498
Jumlah		5052645		5054916
Rata-rata		101052,9		101098,32
Drag		8567264,862		8571115,57

Gaya drag yang bekerja pada flettner rotor
16 meter dengan putaran 500 rpm dan
kecepatan angin 10 m/s adalah =

3850,7076

Nilai
Cd =

0,425813

B. Flettner Rotor 18 meter, putaran = 500 rpm dan Kecepatan Angin 10,29 m/s (20 knots)

Tabel Nilai Distribusi Lift Pada Tiap Titik Flettner Rotor 18 meter

Tekanan Pada Luasan 1		Tekanan Pada Luasan 2	
No	Nilai	No	Nilai
1	101022	1	100957
2	101031	2	100949
3	101080	3	100881
4	101147	4	100855
5	101156	5	100824
6	101207	6	100766
7	101245	7	100706
8	101256	8	100688
9	101293	9	100633
10	101322	10	100614
11	101332	11	100566
12	101349	12	100538
13	101350	13	100456
14	101367	14	100455
15	101371	15	100424
16	101382	16	100403
17	101393	17	100396
18	101404	18	100350
19	101415	19	100348
20	101426	20	100342
21	101427	21	100340
22	101431	22	100351
23	101432	23	100355
24	101448	24	100362
25	101448	25	100376
26	101447	26	100392
27	101446	27	100405
28	101438	28	100417
29	101430	29	100424
30	101422	30	100430

31	101414	31	100437
32	101406	32	100468
33	101398	33	100484
34	101390	34	100512
35	101382	35	100536
36	101381	36	100557
37	101366	37	100591
38	101361	38	100596
39	101355	39	100642
40	101305	40	100676
41	101294	41	100713
42	101282	42	100729
43	101233	43	100746
44	101230	44	100804
45	101180	45	100830
46	101176	46	100882
47	101118	47	100895
48	101114	48	100933
49	101068	49	100979
50	101024	50	101014
Jumlah	5065394		5030027
Rata-rata	101307,88		100600,54
Lift	8588882,066		8528913,781

Gaya lift yang bekerja pada flettner rotor 18 meter dengan putaran 500 rpm dan kecepatan angin 10 m/s adalah =

59968,2852

Nilai Cl = **5,8945**

Tabel Nilai Distribusi Drag Pada Tiap Titik Flettner Rotor 18 meter

Tekanan Pada Luasan 1		Tekanan Pada Luasan 2	
No	Nilai	No	Nilai
1	100392	1	101447
2	100405	2	101446
3	100417	3	101438
4	100424	4	101430
5	100430	5	101422

6	100437	6	101414
7	100468	7	101406
8	100484	8	101398
9	100512	9	101390
10	100536	10	101382
11	100557	11	101381
12	100591	12	101366
13	100596	13	101361
14	100642	14	101355
15	100676	15	101305
16	100713	16	101294
17	100729	17	101282
18	100746	18	101233
19	100804	19	101230
20	100830	20	101180
21	100882	21	101176
22	100895	22	101118
23	100933	23	101114
24	100979	24	101068
25	101014	25	101024
26	101022	26	100957
27	101031	27	100949
28	101080	28	100881
29	101147	29	100855
30	101156	30	100824
31	101207	31	100766
32	101245	32	100706
33	101256	33	100688
34	101293	34	100633
35	101322	35	100614
36	101332	36	100566
37	101349	37	100538
38	101350	38	100456
39	101367	39	100455
40	101371	40	100424
41	101382	41	100403
42	101393	42	100396

	43	101404	43	100350
	44	101415	44	100348
	45	101426	45	100342
	46	101427	46	100340
	47	101431	47	100351
	48	101432	48	100355
	49	101448	49	100362
	50	101448	50	100376
Jumlah		5048826		5046595
Rata-rata		100976,52		100931,9
Drag		8560789,366		8557006,482

Gaya drag yang bekerja pada flettner rotor
18 meter dengan putaran 500 rpm dan
kecepatan angin 10 m/s adalah =

3782,8836

Nilai

Cd =

0,371833

C. Flettner Rotor 20 meter, putaran = 500 rpm dan Kecepatan Angin 10,29 m/s (20 knots)

Tabel Nilai Distribusi Lift Pada Tiap Titik Flettner Rotor 20 meter

Tekanan Pada Luasan 1		Tekanan Pada Luasan 2	
No	Nilai	No	Nilai
1	101466	1	101350
2	101469	2	101375
3	101475	3	101380
4	101480	4	101385
5	101485	5	101390
6	101500	6	101400
7	101510	7	101410
8	101515	8	101420
9	101520	9	101450
10	101525	10	101475
11	101530	11	101480
12	101533	12	101485
13	101535	13	101490
14	101540	14	101500
15	101545	15	101495
16	101550	16	101480
17	101560	17	101470
18	101566	18	101465
19	101570	19	101460
20	101573	20	101455
21	101575	21	101450
22	101580	22	101445
23	101585	23	101440
24	101590	24	101435
25	101600	25	101420
26	101590	26	101400
27	101550	27	101375
28	101525	28	101370
29	101500	29	101350
30	101450	30	101325

31	101400	31	101320
32	101367	32	101310
33	101366	33	101300
34	101365	34	101280
35	101360	35	101270
36	101355	36	101260
37	101350	37	101250
38	101300	38	101240
39	101275	39	101120
40	101250	40	101200
41	101200	41	101190
42	101190	42	101185
43	101180	43	101180
44	101150	44	101175
45	101354	45	101170
46	101334	46	101160
47	101335	47	101150
48	101336	48	101160
49	101337	49	101200
50	101350	50	101250
Jumlah	5072146		5067195
Rata-rata	101442,92		101343,9
Lift	8600330,758		8591935,842

Gaya lift yang bekerja pada flettner rotor 20 meter dengan putaran 500 rpm dan kecepatan angin 10 m/s adalah =

8394,9156

Nilai Cl = **0,74265**

Tabel Nilai Distribusi Drag Pada Tiap Titik Flettner Rotor 20 meter

Tekanan Pada Luasan 1		Tekanan Pada Luasan 2	
No	Nilai	No	Nilai
1	101300	1	101450
2	101280	2	101400
3	101270	3	101367
4	101260	4	101366
5	101250	5	101365

6	101240	6	101360
7	101120	7	101355
8	101200	8	101350
9	101250	9	101300
10	101270	10	101275
11	101290	11	101250
12	101300	12	101200
13	101325	13	101190
14	101350	14	101180
15	101375	15	101150
16	101380	16	101175
17	101400	17	101185
18	101435	18	101190
19	101450	19	101220
20	101466	20	101250
21	101469	21	101270
22	101475	22	101290
23	101480	23	101300
24	101485	24	101325
25	101500	25	101350
26	101510	26	101375
27	101515	27	101380
28	101520	28	101385
29	101525	29	101390
30	101530	30	101400
31	101533	31	101410
32	101535	32	101420
33	101540	33	101450
34	101545	34	101475
35	101550	35	101480
36	101560	36	101485
37	101566	37	101490
38	101570	38	101500
39	101573	39	101495
40	101575	40	101480
41	101580	41	101470
42	101585	42	101465

	43	101590	43	101460
	44	101600	44	101455
	45	101590	45	101450
	46	101550	46	101445
	47	101525	47	101440
	48	101500	48	101435
	49	101450	49	101420
	50	101400	50	101400
Jumlah		5072137		5068168
Rata-rata		101442,74		101363,36
Drag		8600315,497		8593585,661

Gaya drag yang bekerja pada flettner rotor 20 meter dengan putaran 500 rpm dan kecepatan angin 10 m/s adalah =

6729,8364

Nilai

Cd = **0,59535**

Tabel Hasil Nilai Korfisien Lift dan Drag Flettner Rotor 16, 18, dan 20 meter

No	Flettner Rotor	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (rpm)	L (Lift)	D (Drag)	Cl (Koefisien Lift)	Cd (Koefisien Drag)
1	Rotor 16 m	10	500	56190,4884	3850,7076	6,213563	0,4258125
2	Rotor 18 m	10	500	59968,2852	3782,8836	5,8945	0,371833333
3	Rotor 20 m	10	500	8394,9156	6729,8364	0,74265	0,59535

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 6 Januari 1993 dan merupakan putra ketiga dari empat bersaudara. Penulis telah menjalani pendidikan formal di SDN Pacar Kembang III No. 194 Surabaya, SMPN 9 Surabaya, SMAN 7 Surabaya dan saat ini sedang menempuh pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Pada saat penulis menjalani pendidikan tinggi di ITS, Pada tahun kedua, penulis aktif di dalam Laboratorium MMD (Marine Manufacturing and Design).

Dimas Hermansyah

Dimas.hermansyah11@gmail.com